

EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN RÍOS CAUDALOSOS DE COLOMBIA

WATER QUALITY MONITORING IN HIGH FLOW COLOMBIA'S RIVERS

DERLY VIVIANA BARRERA NIÑO

12/07/2017

Artículo de revisión, como opción de grado para el programa de especialización en:

Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales

Facultad de Ingeniería.

Se realizó una revisión bibliográfica a fin de revisar las metodologías y resultados en materia de calidad de agua de algunos de los ríos más caudalosos del país. Evidenciando necesidades y haciendo una aproximación a los lineamientos más apropiados que permitan monitorear cuerpos de agua loticos con caudales mayores y con un comportamiento diferente a los ríos de montaña.

EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN RÍOS CAUDALOSOS DE COLOMBIA

WATER QUALITY MONITORING IN HIGH FLOW COLOMBIA'S RIVERS

Viviana Barrera¹

¹ Bióloga, candidata a Especialista en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada
Bogotá D.C., Colombia.
vivibani@gmail.com

RESUMEN:

Colombia cuenta con una gran riqueza biogeográfica y de recursos hídricos, constituyendo estadísticamente una buena oferta de agua para los habitantes, sin embargo la calidad del recurso y la sobrepoblación de áreas específicas conllevan a la escasez en el suministro de agua, haciendo importante el seguimiento y monitoreo de la calidad de cuerpos loticos para garantizar una adecuada planificación y gestión de este recurso vital.

Teniendo en cuenta la importancia de esta temática, se realizó una revisión bibliográfica a fin de revisar las metodologías y resultados en materia de calidad de agua de algunos de los ríos más caudalosos del país, que entre otras cosas evidencia la necesidad de inversión, organización y articulación de las políticas, estrategias, planes y protocolos implementados en el país a fin de armonizar las metodologías dentro y fuera de la nación, a fin de promover y permitir un desarrollo económico y social basado en la conservación y uso eficiente del recurso hídrico.

Palabras claves: calidad del agua, gestión del recurso hídrico, monitoreo y seguimiento.

ABSTRACT:

Colombia has a big biogeographic richness as well as hydric resources, meaning a good statistically provision of water supplies for the habitants, nonetheless, the quality of the resource and the overpopulation in specific areas produce a shortage in the water supplies, making important the river's water quality monitoring and tracing activities for guarantee the correct management and planning of this vital resource.

Considering the importance of this topic, a bibliographic review was done, in order to check the water quality methodologies and results for some of the most flowing rivers of the country, that between other things it's evidence of the need of investment, organization and articulation of the politics, strategies, plans and protocols used in the country to be able to harmonize the methodologies in and outside the nation, with the purpose of promote and allow a social and economic develop based on the efficient used and conservation of the hydric resource.

Key words: Water quality, hydric resource management, tracing and monitoring.

INTRODUCCIÓN

Colombia cuenta con una gran riqueza biogeográfica, que se refleja en la abundancia de cuerpos de agua. Entre los cuerpos loticos más destacados por su caudal y longitud, están el río Amazonas que a su paso por Colombia tiene un total de 117 km y un caudal medio que varía entre 12.400 y 60.800 m³/s y cuyo recorrido delimita el extremo sur del Departamento del Amazonas. Así mismo, se puede nombrar el río Caquetá o río Yapurá conocido así en Brasil, con una longitud de 2.280 km, de los cuales 1.200 km se recorren en Colombia, con un caudal de 11.040 m³/s; el río Putumayo, con una longitud de 2.063 km, de los cuales, 1650 se recorren en el interior del país con un caudal que oscila entre 6.664 y 8.458 m³/s. Entre otros, se encuentran los ríos Magdalena - Cauca con una extensión de 1540 Km² y un caudal de 7.100 m³/s; el primero, y paralelamente con una longitud de 1350 Km² y un caudal aproximado de 2.275 m³/s el segundo y el río Orinoquía que cuenta con 2140 km de longitud entre Venezuela y Colombia y un caudal de 33 000 m³/s [1-4].

Colombia es así, poseedor de un gran potencial hídrico, catalogado como un país rico en relación a la cantidad de agua disponible por habitante; siendo este potencial tres veces mayor que el promedio suramericano y seis veces mayor que la oferta hídrica específica promedio mundial [5]. No obstante, se presenta escasez del recurso en muchas regiones del país y esto debido no a la cantidad, si no a la calidad del mismo. Este deterioro en las fuentes de agua se han debido a la contaminación, deforestación, la erosión, la pérdida de la capacidad de retención y regulación del recurso en los suelos de laderas y piedemonte, afectando la biodiversidad y los ecosistemas boscosos y de páramo, al tener como resultado la desestabilización de cuencas tan importantes como las de los ríos Magdalena y Cauca [6-7].

Sin embargo, luego de una década de la expedición el Decreto 1323, por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH), como parte del Sistema de Información de Colombia (SIAC) y la publicación del protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua [8], donde se aseguraba que la red de monitoreo hidrológico cubriría todo el territorio nacional principalmente los ríos más grandes señalando solo al Magdalena, Cauca y Catatumbo. Se considera pertinente hacer una revisión bibliográfica para evaluar cualitativamente las metodologías y los resultados o información disponible en materia de calidad de agua para algunos de los ríos más caudalosos de Colombia.

Sumado a lo anterior, y teniendo en cuenta que con la guía del IDEAM [8], se establecieron alcances enfocados al seguimiento de la cantidad y oferta del agua, mencionando la importancia del monitoreo de la calidad del recurso, pero haciendo un énfasis descriptivo en cuanto al componente de cantidad y no relacionando información o metodologías de seguimiento para la calidad, podría esperarse, que se ponga en evidencia la carencia de información relacionada con la calidad de agua en los ríos de interés y así mismo una gestión integral del recurso hídrico

pobre o que no se está ejecutando de manera idónea, requiriéndose, considerar los diferencias y variaciones de los tipos de cuerpos lóticos existentes en el país.

Dentro de los documentos nacionales relacionados al monitoreo de la calidad del agua en Colombia se pueden mencionar los siguientes: Guía de monitoreo y seguimiento del agua publicado en página web del IDEAM con sus respectivos Anexos (algunos elaborados desde antes del año 2000); el Protocolo para la emisión de los pronósticos hidrológicos [9] y la Actualización de la Guía y Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua [10].

Igualmente, en el año 2007 se conformó la red regional de calidad del agua para la cuenca del río Magdalena-Cauca, por parte del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, la Corporación Autónoma Regional del río grande de la Magdalena - CORMAGDALENA, la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM y Oficina Nacional Forestal - ONF, la cual pretendió consolidar las observaciones y mediciones hidrológicas de las variables de calidad del agua superficial para el río Magdalena y sus principales afluentes [11]. Sin embargo, de esta alianza se logró obtener información de dos campañas integrales de monitoreo, que no han tenido continuidad. En este sentido, es importante recordar que el nivel del éxito en la administración del agua y en la gestión integrada del recurso hídrico con soporte en indicadores del estado del agua, está estrechamente relacionado con la producción de datos e información y su intercambio en forma estandarizada y sistematizada [8], así la falta de continuidad en la obtención de información primaria es la gran limitante para alcanzar los objetivos planteados para la gestión integral y gobernanza del agua [12].

La temática de calidad del agua tanto dulce como salada, se ha convertido en un eje central desde que se han comprobado efectos directos en la salud humana por exposición a aguas con elevada concentración en coliformes fecales, totales y enterococos [13-15]. Por tanto se han desarrollado diferentes metodologías para determinar la calidad del agua, que pueden ser fisicoquímica, microbiológica y biológica; éstas metodologías han incluido el desarrollo de índices de calidad. Este índice de calidad consiste en una expresión simple de una combinación con algún nivel de complejidad de parámetros, que al final proporciona información que pueda ser fácilmente interpretada y que está basada en bioindicadores [16-18]. Siendo así una herramienta comunicativa uniforme para todo tipo de público, a fin de aumentar o mejorar la comunicación sobre la calidad del agua [19].

Es así como, el presente artículo pretende evaluar cualitativamente las metodologías y sus resultados en materia de calidad de agua, comparando la información disponible de la calidad del agua en los ríos caudalosos como, Amazonas, Caquetá, Orinoco, Magdalena, Cauca y Putumayo. Del mismo modo se busca identificar en base a la bibliografía, las metodologías usadas en el país para el monitoreo de calidad del agua en ríos caudalosos de Colombia y su pertinencia y/o eficacia, siendo un aporte de la presente revisión una aproximación a los lineamientos más apropiados que permitan monitorear cuerpos de agua loticos con caudales mayores y con un comportamiento diferente a los ríos de montaña.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

El método usado para la revisión de literatura del presente artículo es el denominado “Análisis de contenido”, que según [20], consiste en un método de investigación por observación utilizado para evaluar sistemáticamente el contenido teórico de todas las formas de comunicación. Así mismo, permite identificar, seleccionar y clasificar la literatura en varias categorías. De acuerdo con [20], varios autores en sus revisiones bibliográficas han hecho uso de esta metodología, por ejemplo, [21] adoptó la metodología de análisis de contenido para examinar los estudios de caso de proyectos de software de código abierto en la investigación sobre el equilibrio entre la confianza y el control en una organización virtual.

La revisión de literatura se limita al periodo considerado entre al año 2000 y el año 2015, aunque unos pocos artículos relevantes para la investigación anteriores al año 2000 se incluyeron en la revisión bibliográfica, debido a su contribución al desarrollo de la temática y que por su originalidad siguen vigentes.

La búsqueda se enfocó hacia artículos relacionados con estudios de implementación y/o desarrollo de metodologías para monitorear la calidad del agua en ríos caudalosos en Colombia. Se utilizaron motores de búsqueda como ScienceDirect, ProQuest, Scopus y Scielo que en sus bases de datos cuentan con artículos especializados en el área de investigación. Palabras clave como “calidad del agua”, “monitoreo de calidad”, “indicadores de calidad del agua”, y “gestión del agua”, se escogieron para ubicar artículos relacionados con el tema objeto de estudio. Además se consultó bibliografía disponible en la red de bibliotecas públicas de la ciudad de Bogotá, así como la del Banco de la República (Luis Angel Arango) y de entidades oficiales.

En esta revisión bibliográfica se han incluido 51 referencias, clasificadas por tipo de industria o sector industrial y también de acuerdo a la técnica metodológica utilizada en cada caso.

Como dato adicional, cabe resaltar que de las 51 referencias consultadas para el presente artículo, 48% de ellas corresponden a artículos publicados en revistas. La mayoría de estos fueron publicados en la revista Total environment, con un total de 3 trabajos, equivalente a un 6%, seguida por las revistas avances en recursos hidráulicos y Science of the total environment, con un total de 2 artículos cada uno, 4%. El porcentaje de documentación correspondiente a informes técnicos de las entidades públicas fue del 18% y aquellos consultados como documentos guía a nivel nacional representaron el 36%.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como parte integral de la revisión bibliográfica, se consideró la revisión de la normativa Colombiana en relación a la temática de Calidad de agua, que si bien extensa aun inconclusa en cuanto a límites de detección de algunos parámetros fisicoquímicos que en la actualidad se comparan con referentes internacionales (tabla 1). Por otro lado se encuentran los tratados y/o convenios internacionales en los que Colombia se ha vinculado convirtiéndose en compromisos internacionales vinculantes y que obligan a establecer directrices en pro del cumplimiento de las metas o compromisos allí pactados, lo que incluye hábitats marinos, de ribera y humedales, integrando así un gran sistema hídrico (tabla 2).

Tabla 1. Recopilación de la normatividad colombiana asociada a la calidad del agua.

NORMATIVIDAD COLOMBIANA PARA LA CALIDAD DEL AGUA		
INSTRUMENTO	AÑO	REFERENCIA
Decreto Ley 2811	1974	Código Nacional de Recursos Naturales renovables y de protección al medio ambiente.
Decreto 2811	1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Decreto 1449	1977	Disposiciones sobre conservación y protección de aguas, bosques, fauna terrestre y acuática
Decreto 1541	1978	Aguas continentales, concesiones, explotación y vertimientos
Decreto 1681	1978	Sobre recursos hidrobiológicos
Resolucion 0337	1978	La zonificación del país desde el punto de vista hidrológico, tiene sus inicios en el HIMAT mediante la cual establece que el país está conformado por cinco Áreas hidrográficas (1- Caribe, 2- Magdalena - Cauca, 3- Orinoco, 4- Amazonas y 5-Pacífico) que a su vez están divididas en Zonas Hidrográficas y subdivididas en Subzonas Hidrográficas
Ley 09	1979	Código sanitario nacional: potabilización del agua para consumo humano
Decreto 2857	1981	Ordenación y protección de cuencas hidrográficas
Decreto 2858	1981	Modifica el Decreto 1541 de 1978
Decreto 2105	1983	Reglamenta parcialmente la Ley 09 de 1979 sobre potabilización y suministro de agua para consumo humano
Decreto 1594	1984	Usos del agua y residuos líquidos
Decreto 2314	1986	Concesión de aguas
Decreto 79	1986	Conservación y protección del recurso agua
Decreto 1700	1989	Crea Comisión de Agua Potable
Ley 99	1993	Crea el Ministerio del Medio Ambiente y Organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Reforma el sector Público encargado de la gestión ambiental
Decreto 1753	1994	Define la licencia ambiental LA: naturaleza, modalidad y efectos; contenido, procedimientos, requisitos y competencias para el otorgamiento de LA.
Decreto 2150	1995	Reglamenta la licencia ambiental y otros permisos. Define los casos en que se debe presentar Diagnóstico Ambiental de Alternativas, Plan de Manejo Ambiental y Estudio de Impacto Ambiental. Suprime la licencia ambiental ordinaria
Documento CONPES 1750	1995	Políticas de manejo de las aguas
Decreto 605	1996	Reglamenta los procedimientos de potabilización y suministro de agua para consumo humano
Decreto 901	1997	Tasas retributivas por vertimientos líquidos puntuales a cuerpos de agua
Ley 373	1997	Uso eficiente y ahorro del agua
Decreto 1311	1998	Reglamenta el literal G del artículo 11 de la ley 373 de 1997
Decreto 475	1998	Normas técnicas de calidad de agua potable
Ley 491	1999	Define el seguro ecológico y delitos contra los recursos naturales y el ambiente y se modifica el Código Penal
Decreto 1729	2002	Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del artículo 5° de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones.
Resolucion 769	2002	Se dictan disposiciones para contribuir a la protección, conservación y sostenibilidad de los páramos

Decreto 3100	2003	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.(Modificado y Parcialmente Derogado)
Decreto 155	2004	Tasas por utilización de aguas y se dictan otras disposiciones
Decreto 3440	2004	Por el cual se modifica el Decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones.
Decreto 4742	2005	Por el cual se modifica el artículo 12 del Decreto 155 de 2004 mediante el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas.
Decreto 1323	2007	Por el cual se crea el sistema de información del recurso hídrico que hace parte del sistema de información ambiental para Colombia.
Decreto 1575	2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
Resolucion 2115	2007	Se señalan características, instrumentos básicos y frecuentes del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano
Decreto 1324	2007	Por el cual se crea el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico y se dictan otras disposiciones.
Documento CONPES 3550	2008	Lineamientos para la formulación de la política integral de salud ambiental con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química
Decreto 3930	2010	Usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones
Decreto 2667	2012	Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Recopilación de los tratados y/o convenios internacionales firmados y adoptados por Colombia.

Legislación internacional adoptada por Colombia	
1973	Convenio Internacional para prevenir la contaminación por buques
1971	Convenio sobre la constitución de un fondo internacional de indemnización de daños causados por la contaminación del mar con hidrocarburos
1981	Acuerdo sobre la cooperación regional para el combate de la contaminación del Pacífico Sudeste por hidrocarburos y otras sustancias nocivas, en caso de emergencia. Lima,
1983	Protocolo de cooperación para combatir derrames de hidrocarburos en la región del Gran Caribe. Cartagena
1983	Protocolo complementario del Acuerdo sobre la cooperación regional para el combate de la contaminación del Pacífico Sudeste por hidrocarburos y otras sustancias nocivas, en caso de emergencia. Quito,
1983	Protocolo para la protección del Pacífico Sudeste contra la contaminación marina proveniente de fuentes terrestres. Quito
1985	Convenio para la protección del medio marino y la zona costera del Pacífico Sudeste – Ley 45-85
1992	Convenio sobre la diversidad biológica. Rio de Janeiro
1992	Protocolo sobre el programa para el estudio regional del fenómeno " El Niño " en el Pacífico Sudeste. Lima
1997	Convenio relativa a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas – RAMSAR

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, dentro de la recopilación de información relacionada con las metodologías empleadas en el país para el seguimiento y monitoreo de la calidad del agua en ríos caudalosos (tabla 3), varios aspectos son de resaltar, primero que el enfoque del seguimiento esta dado a focos de contaminación directos más que al seguimiento de hábitats naturales, segundo, que dentro de las metodologías adoptadas para el país se emplea una base extranjera, desconociendo las particularidades de los cuerpos de agua colombianos, tercero que no existe una diferenciación metodológica para ríos de montaña y ríos lacustres que son más caudalosos y extensos con dinámicas ecológicas variantes y en alguna medida de mayor complejidad, finalmente, que en la información relacionada en los manuales

no existe documentación suficiente para establecer un idóneo muestreo en campo para algunos parámetros [22-31].

Así mismo se puede resaltar las metodologías establecidas en la academia, donde se requieren replicas y un numero de muestras mínimo por transecto, que no se están cumpliendo en el monitoreo de agua en general, en su mayoría debido a los costos y dinámicas de contratación empleadas para el desarrollo de este tipo de actividades. Por otro lado, en el Estudio Nacional del Agua – ENA 2014 [32] se establece claramente los parámetros e índices que se deben medir de acuerdo al objetivo que se establezca, siendo así el ICA (índice de calidad del agua) para condiciones de calidad, mientras que el IACAL (Índice de alteración potencial de la calidad) para las presiones por carga contaminante y uso.

Tabla 3. Recopilación de la documentación guía y/o protocolos asociadas al monitoreo de calidad de agua.

NORMAS TECNICAS		
NTC-ISO 5667-1	1995	Gestión ambiental calidad del agua. Muestreo. Directrices para el diseño de programas de muestreo [22]
NTC-ISO 5667-2	1995	Gestión ambiental, calidad de agua. Muestreo parte 2. Guía general para las técnicas de muestreo [23]
NTC-ISO 5667-3	1995	Gestión ambiental, calidad de agua. Muestreo parte 3. Guía general para conservación y manejo de muestras [24]
NTC-ISO 5667-6	1995	Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas, ríos y corrientes. [25]
NTC 3650-1	1998	Gestión ambiental. Calidad e agua. Vocabulario parte 1 (ISO 6107/1) [26]
NTC 3650-2	1999	Gestión ambiental. Calidad e agua. Vocabulario parte 2 (ISO 6107/2) [27]
NTC- ISO/IEC 17025		“Requisitos Generales de Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración”[28]
(APHA. AWWA. WPCF, 1998)		Protocols of the Standard methods for the examination of water and wastewater de la AWWA, Para las variables físicas y químicas
REGULACIONES NACIONALES		
Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico	2010	Se establecen los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción para el manejo de este recurso en el país, con un horizonte de 12 años. En el objetivo de calidad se enmarca: Mejorar la calidad y minimizar la contaminación del recurso hídrico. [29]
Planes Estratégicos de Macrocuencas en Áreas Hidrográficas:		Es el instrumento de planificación ambiental de largo plazo que con visión nacional, constituye el marco para la formulación, ajuste y/o ejecución de los diferentes instrumentos de política, planificación, planeación, gestión y de seguimiento. Las Macrocuencas objeto de este instrumento son: Magdalena-Cauca, Caribe, Pacifico, Amazonas, Orinoco. [30]
Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico, en las Zonas Hidrográficas	2013	El Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico se adelantará a nivel de las Zonas Hidrográficas (41), en las cuales se monitoreará el estado del recurso hídrico y el impacto que sobre este tienen las acciones desarrolladas en el marco de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. [31]
Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, en Subzonas Hidrográficas o su nivel subsiguiente:		El Plan de Ordenación y Manejo de cuencas - POMCA es el instrumento a través del cual se realiza la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna y el manejo de la cuenca, entendido como la ejecución de obras y tratamientos, en la perspectiva de mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y económico del recurso y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca.
Plan de Ordenamiento del recurso hídrico, PORH		El Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico- PORH es el instrumento que permite realizar la clasificación de las aguas superficiales, subterráneas y marinas, fijar en forma genérica su destinación a los diferentes usos y sus posibilidades de aprovechamiento.

DOCUMENTOS IDEAM/MADS
Indicadores Ambientales Clasificados por Temáticas Ambientales
Instructivo para diligenciamiento de información en el módulo de calidad
Manual observatorio del agua
Manual del usuario PORH- Plan de ordenamiento del recurso hídrico
Manual de usuario POMCA- Planes de ordenamiento y manejo de cuencas
Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua – ERA
Protocolo Para El Monitoreo Y Seguimiento Del Agua

Fuente: Elaboración propia.

En relación a la información disponible sobre la calidad de agua, se puede resumir que los ríos Amazonas, Caquetá y Putumayo se encuentran compilados en el balance anual 2006 [1] en el que la información de los tres ríos se agrupan, así mismo, señala que los estudios realizados en la región no cuentan con repeticiones que permitan hacer el adecuado análisis del comportamiento hidrológico histórico, pese a que, se observa una dinámica lotica compleja y en ocasiones fuera de los estándares de calidad, pero a su vez con la confluencia de gran biodiversidad.

Para el caso del río Orinoco la información es más precaria, por lo que se prefiere referir a lo relacionado en el ENA 2014 [32] que define a la cuenca del Orinoco en general como un área de gran oferta hídrica y debido a su baja demanda está caracterizada por índices de calidad buenos en comparación con cuencas como la del Magdalena-Cauca. Estos últimos, son los ríos más monitoreados principalmente por su importancia socio-económica, que conformando una macrocuenca cuenta con 5 informes sobre la calidad del recurso [33-38], que sin embargo no son homogéneos entre sí, evaluando diferentes parámetros, estaciones y con intervalos de tiempo no específicos.

Es así, como se puede asegurar que en Colombia al igual que en otros países existen varios retos en la armonización del monitoreo de la calidad del agua en ríos de gran escala, especialmente aquellos que son transfronterizos, y a su vez la necesidad de aumentar los registros nacionales e información requerida en la temática [39,12].

Dentro del panorama internacional, casos como el del río Mekong (que atraviesa 6 países asiáticos) y Danubio (que es compartido por 19 países de Europa), y poseen información a lo largo del río que es comparable y compatible entre todos los países, gracias a la implementación de programas y protocolos conjuntos; demuestra la necesidad de cooperación y organización para que ríos como el Amazonas (que recorre siete países de Sur América) inicien un proceso de intercalibración o estandarización de métodos e indicadores entre las agencias y/o entidades nacionales e internacionales encargadas del monitoreo de la calidad del agua, teniendo en cuenta que es el río más caudaloso del mundo [39-40]. Lo anterior teniendo en cuenta que el monitoreo prolongado o de largo plazo es condicional para realizar un adecuado manejo de las cuencas hidrográficas, que en la experiencia del Danubio y la integración de esfuerzos y entidades ha comenzado a mostrar los resultados que pueden direccionar todos los esfuerzos de manejo y planeación de estos ecosistemas a fin de mejorar la calidad del agua no solo a lo largo del río si no en su descarga en las zonas costeras y deltas [39].

Hay que resaltar, que la gestión y comparación de metodologías e información en seis países mediterráneos se facilitó con la adopción a nivel nacional de un muestreo europeo estándar, así como el manejo y análisis de muestras para parámetros hidrobiológicos estableciendo las convenciones taxonómicas a fin de no afectar la veracidad de los resultados [41]. Lo anterior, sumado a que en otros estudios se ha demostrado mediante correlación que la asertividad en la clasificación del estado de los ecosistemas hídricos, que se puede hacer por medio del juicio y/o conocimiento de un experto para determinar la calidad ecológica de ríos, disminuyendo costos y tiempo, que permiten invertir apropiadamente los recursos en la implementación de medidas de control, mitigación y/o restauración de ecosistemas. Sin embargo en ambientes poco estudiados o con impactos menores se debe preferir la evaluación por índices e indicadores, basados en los datos y análisis de información en campo [42]. Por lo que sería preferible seguir este último camino en la consolidación e interpretación de la información de recursos hídricos en Colombia, debido al escaso esfuerzo de muestreo significativo con el que se cuenta en el país en los ríos de interés, además de intensificar los esfuerzos por homogenización y mejora de los protocolos de seguimiento y monitoreo de la calidad del agua, basados en información de la academia para contar con datos que permitan más allá de tomar decisiones hacer una planificación y mejora del ejercicio de gestión del recurso hídrico.

Las actividades humanas tienen un impacto significativo en el cambio climático, lo que puede implicar cambios en los regímenes de lluvia de muchas áreas como las del norte de China, como en el río Yangtze. [43]. Es así como, mantener la calidad del agua es un asunto importante para el manejo de los recursos naturales y el uso de la tierra ejerce la mayor influencia sobre la calidad del agua. Por lo anterior, se considera que dentro del futuro inmediato del manejo integrado del recurso los aspectos como la distinción entre la huella verde y azul, el desarrollo de marcos de referencia que consideren los sistemas socio-ecológicos y el desarrollo de una administración del agua en movimiento, serán esenciales para enfrentar los retos de este recurso [44].

En consecuencia, las investigaciones deben considerar la identificación de impactos del cambio climático en los futuros recursos hídricos que permitan una idónea planeación y manejo por parte de las agencias encargadas [43]. A fin de que los planes de desarrollo en ríos, especialmente los asociados a las hidroeléctricas sean fuente de desarrollo y armonización, que eviten casos como el de China donde están trayendo conflictos con los vecinos países del sur, que se preocupan por el abastecimiento de agua en su territorio, debido a los macroproyectos de interés chino que involucran el recurso agua, demostrando que el manejo de ríos transfronterizos es una estrategia esencial para el desarrollo de una nación [45].

Sin embargo, dadas las diferencias en regulaciones, estándares de calidad de agua, las diferencias geográficas y geológicas, el uso de suelo, entre otras, se hace difícil, si no imposible, sugerir una única solución para la decisión de procesos de planeación y optimización del monitoreo [46-48]. Por esto, lograr integrar el manejo de los ríos y sus cuencas es una meta política y administrativamente importante para el manejo del recurso. Aunque no se adquiera rápido, fácil o con pasos simples, representa un pequeño nivel de integración que traerá los beneficios para los ecosistemas que están integrados por humanos [44,49].

Ahora, los retos de las metodologías de investigación y seguimiento de calidad del agua requieren de nuevas herramientas y requerimientos, mientras se continúa alimentando las series de datos históricos y se introduce una comunicación inteligente hacia los negocios, políticas y gobiernos [46]. En este sentido, el monitoreo automatizado de calidad de agua es una herramienta muy útil para revisar el estado de los cuerpos hídricos [50]. Por su parte, el monitoreo de ríos extensos y caudalosos requieren de grandes esfuerzos y recursos, exigiendo métodos estadísticos nuevos que permitan reducir los costos al reducir las estaciones que son objeto de monitoreo sin que haya pérdida de información. Así mismo se requiere adaptar los indicadores de calidad de agua a las necesidades emergentes y agentes de polución, como respuesta a los cambios locales y globales causados por el calentamiento global y las actividades antropogénicas [39].

Por lo anterior, se hace necesaria la inversión en la formación de expertos, que con el tiempo permitan estandarizar los conocimientos asociados a la calidad del agua y provean una idea o panorama claro del funcionamiento, estabilidad, resiliencia y servicios que están asociados a un cuerpo de agua de interés [42]. Además, al igual que en otros casos, se considera pertinente proponer el desarrollo de una ley de protección nacional que integre las metas del manejo de recursos a largo plazo que integre el desarrollo alrededor de los ríos, así como su conservación y los derechos públicos de participación para que sean claros y relevantes en el seguimiento y monitoreo del recurso hídrico [45, 51].

Finalmente, como lineamientos estratégicos para la organización del seguimiento y monitoreo de la calidad del agua se podrían mencionar, el esfuerzo en la coordinación para el manejo integrado del manejo de ríos, mejora en la implementación de los EIAs (evaluaciones de impacto ambiental), promover la restauración y conservación de ríos, fortalecer la participación pública, integrar los ítems de identificación de impactos y adaptación al cambio climático, así como, construir una cooperación y/o alianzas internacionales preferiblemente con países de cuencas o ríos transfronterizos [45]. De manera específica para los ríos caudalosos, es necesario ampliar la red de monitoreo cuya cobertura incluya mayores estaciones, regular o establecer una frecuencia exacta para la medición de datos a lo largo del curso del río, cuya información alimenten la base de datos del SIRH, siendo de acceso nacional, así como reestructurar los manuales de muestreo en campo permitiendo establecer las diferencias y estrategias para la toma de muestras en los diferentes tipos de cuerpos loticos.

3. CONCLUSIONES

A partir de la presente revisión bibliográfica, se logró establecer que no existen metodologías diferenciales para los diferentes tipos de ríos en Colombia, siendo la metodología del río de montaña implementada indiferencialmente, por lo que los resultados de calidad de agua a nivel nacional son discutibles en su veracidad teniendo en cuenta aspectos técnicos propios de la metodología de muestreo, especialmente de los parámetros hidrobiológicos, así como la ausencia de las réplicas y datos en ambas temporadas anuales necesarias para alimentar una idónea base de datos histórica del país.

Es importante mencionar que si bien se cuenta con información de todos los ríos de interés, el esfuerzo de muestreo está netamente ligado a su importancia socio-económica, resultando en mayor disponibilidad de información y entendimiento de la dinámica hidrobiológica, por lo que la cuenca Magdalena-Cauca abarca la mayor cantidad de datos hidrológicos y cubrimiento en la red hidro-meteorológica.

Final y específicamente para los ríos caudalosos, es necesario ampliar la red de monitoreo cuya cobertura incluya mayores estaciones, regular o establecer una frecuencia exacta para la medición de datos a lo largo del curso de los ríos, cuya información alimente la base de datos del SIRH, siendo de acceso nacional, así como reestructurar los manuales de muestreo en campo permitiendo establecer las diferencias y estrategias para la toma de muestras en los diferentes tipos de cuerpos loticos.

REFERENCIAS

1. Instituto SINCHI. (2007). Balance anual sobre el estado de los ecosistemas y el ambiente de la Amazonia colombiana 2006. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, Bogotá. Primera edición. [249 pp]. Recuperado de: http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DERECHOS_AUTOR/documentos/ejemplos/SINCHI_ESTADO-AMBIENTE.pdf
2. Fajardo, D., Fondo Fen Colombia & Urbina, F. (1998). Colombia Orinoco. Capítulo: La gran cuenca del Orinoco. Bogotá: FEN Colombia. Recuperado de: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/faunayflora/orinoco/indice.htm>
3. Restrepo, J.D. & Kjerfve, B. (2004). The Pacific and Caribbean Rivers of Colombia: Water Discharge, Sediment Transport and Dissolved Loads. In: Lacerda, L.D., Santelli, R.E., Duursma, E. & Abrão, J.J. 2004. Environmental Geochemistry in Tropical and Subtropical Environments. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. [169-188].
4. Paredes, Y., Garcés, P. & Villa, L. (2010). INFORME DE SEGUIMIENTO DE CARACTERIZACIÓN DE 16 RÍOS NAVEGABLES Y LA ACTIVIDAD PORTUARIA. Superintendencia de puertos y transporte: garantes del transporte, para el progreso del país. [10 pp].
5. IDEAM, 2010. Estudio Nacional del Agua. (2010). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/021888.htm>
6. Marín, R. (15, 07, 2003). Colombia Potencia Hídrica. Recuperado de: http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32996297/Agua_en_colombia.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1498193362&Signature=hHaZEEHc835Rqpa%2B9G9d%2BYc1weY%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DCOLOMBIA_POTENCIA_HIDRICA.pdf
7. Samboni, N., Reyes A., & Carvajal Y. (2011). Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta. Ingeniería y Competitividad, 13 (2). [49–60].

8. IDEAM. (2007). Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial en conjunto con el Instituto de hidrología y meteorología. [159 pp]. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021172/Protocoloparaelmonitoreoyseguimientodelagua.pdf>.
9. IDEAM. (2008). Protocolo para la emisión de los pronósticos hidrológicos. Imprenta Nacional Bogotá, Colombia. [120 pp]. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/15016/ProtocoloEmision.pdf/7a801741-6e42-435b-aed4-669e30ef0e16>.
10. Sánchez Lancheros, F. (2006). Guía y protocolos del monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM. [451 pp].
11. IDEAM, CORMAGDALENA & ONF ANDINA. (2007). Nueva medición de la calidad del agua en los ríos Magdalena y Cauca. [23 pp].
12. Zamudio, C. (2012). Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia: entre avances y retos. *Revista Gestión y Ambiente*, 15 (3). [99-112]. ISSN 0124.177X.
13. Roldán, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista académica Colombiana de Ciencias*, 23(88). [375-387].
14. Salas, H. (2000). Historia y aplicación de normas microbiológicas de calidad de agua en el medio marino. Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente (CEPIS). División de salud y ambiente organización panamericana de la salud oficina sanitaria panamericana, oficina regional de la organización mundial de la salud. [27 pp].
15. Arcos, M., Ávila, S., Estupiñán, S. & Gómez, A. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA- publicación científica*, 3(4). [1-116].
16. Fernández, N. J. & Solano, F. (2005). Índices de Calidad y de Contaminación del Agua, Universidad de Pamplona.
17. Jiménez, M. & Vélez, M. 2006. Análisis comparativo de indicadores de calidad de agua superficial. *Avances en recursos hidráulicos*, 14. [53-70].
18. Pérez, L., Lorenschat, J., Masseferro, J., Pailles, C., Sylvestre, F., Hollwedel, W., Brandorff, G., Brenner, M., Isbele, G., Lozano, M., Scharf, B & Schwalb, A. (2013). Bioindicators of climate and trophic state in lowland and highland aquatic ecosystems of the Northern Neotropics. *Revista de Biología Tropical*, 51(2). [603-644].
19. Ott, W. R. (1978). *Environmental indices: Theory and practice*, Ann Arbor Science Publishers (ed), Michigan.
20. Kolbe, R. & Brunette, M. (1991). Content analysis research: an examination of applications with directives for improving research, reliability and objectivity. *Journal of Consumer Research*; 18(2). [243–50]. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/223744428_Perspectives_in_reverse_logistics_A_review. Citado en: Pokharel, S. and Mutha, A. (2009). *Perspectives in Reverse Logistics: A Review*. *Resource, Conservation and Recycling*, 53(4) [175-182].
21. Gallivan, M. (2001). Striking a Balance between Trust a Control in a Virtual Organization: A Content Analysis of Open Source Software Case Studies. *Information Systems Journal*, 11(4). [277-304].

22. NTC 3650-1. (1998). Gestión ambiental. Calidad e agua. Vocabulario parte 1 (ISO 6107/1). Editada por el Instituto Colombiano de Normas técnicas y certificación (ICONTEC).
23. NTC 3650-2. (1999). Gestión ambiental. Calidad e agua. Vocabulario parte 2 (ISO 6107/2). Editada por el Instituto Colombiano de Normas técnicas y certificación (ICONTEC).
24. NTC- ISO/IEC 17025. (2005). "Requisitos Generales de Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración". Editada por el Instituto Colombiano de Normas técnicas y certificación (ICONTEC). Recuperada de: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:17025:ed-2:v1:es>.
25. NTC-ISO 5667-1. (1995). Gestión ambiental calidad del agua. Muestreo. Directrices para el diseño de programas de muestreo. Editada por el Instituto Colombiano de Normas técnicas y certificación (ICONTEC). Recuperada de: http://ingenieria.udea.edu.co/isa/normas_decretos/norma%20muestreo.pdf.
26. NTC-ISO 5667-2. (1995). Gestión ambiental, calidad de agua. Muestreo parte 2. Guía general para las técnicas de muestreo. Editada por el Instituto Colombiano de Normas técnicas y certificación (ICONTEC). Recuperada de: <https://www.scribd.com/document/138159167/NTC-ISO-5667-2>.
27. NTC-ISO 5667-3. (1995). Gestión ambiental, calidad de agua. Muestreo parte 3. Guía general para conservación y manejo de muestras. Editada por el Instituto Colombiano de Normas técnicas y certificación (ICONTEC). Recuperada de: <http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000140-e3b67e5121/NTC-ISO%205667-03-2004.%20Directrices%20para%20la%20preservacion%20y%20manejo%20de%20muestras.pdf>.
28. NTC-ISO 5667-6. (1995). Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas, ríos y corrientes. Editada por el Instituto Colombiano de Normas técnicas y certificación (ICONTEC). Recuperada de: <https://www.scribd.com/document/96703331/95213741-13-NTC-ISO-5667-6-Calidad-de-Agua-Muestreo-Guia-Para-El-Muestreo-de-Aguas-de-Rio>
29. MAVDT - MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá, D.C.: Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. [124 pp]. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presenaci%C3%B3n_Pol%C3%ADtica_Nacional_-_Gesti%C3%B3n_libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf.
30. MINAMBIENTE. (2013a). Macrocuencas. Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1938:macrocuencas#documentos-de-interés>.
31. MINAMBIENTE. (2013b). Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico. PROGRAMAS Y PROYECTOS DEL PLAN HÍDRICO NACIONAL FASE II (2015 – 2018), PROPUESTA DE ESTRUCTURA Y CONTENIDO – DOCUMENTO EN CONSTRUCCIÓN. [43 pp]. Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/plan-hidrico-nacional/Plan-Hidrico-Nacional-Fase-II.pdf>.
32. IDEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua – ENA 2014. Bogotá, D. C. [496 pp]. Recuperado de: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf.

33. IDEAM & CORMAGDALENA. (2005). INFORME FINAL - CONVENIO N° 024/2005 IDEAM – CORMAGDALENA. Monitoreo de calidad del agua río Magdalena. [124 pp].
34. IDEAM & CORMAGDALENA. (2014). Monitoreo de calidad y cantidad del agua superficial en el área hidrográfica de los ríos Magdalena Cauca y sus principales afluentes en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Río grande de la Magdalena, CONVENIO 010 A /2013. [207 pp].
35. IDEAM, CORMAGDALENA & MAVDT. (2011). Informe Final Convenio Inter administrativo de asociación No058 de 2010, BOGOTÁ D.C. [134 pp].
36. IDEAM, CORMAGDALENA, ONF ANDINA & FFEM. (2007). nueva medición de la calidad de agua en los ríos Magdalena y Cauca realizó el IDEAM, CORMAGDALENA Y ONF ANDINA. [23 pp].
37. CIRMAG & CORMAGDALENA (2015). Campaña de monitoreo de calidad de aguas de la Cuenca Magdalena-Cauca 2015. [94 pp].
38. Reyes, P. (2015). Asistencia técnica a CORMAGDALENA para el acompañamiento de un proyecto sobre el estado ecológico de los ríos mediante la bioindicación por diatomeas. ASCONIT consultants, expertos al servicio de la gestión durable de los recursos del medio ambiente. [14 pp].
39. Chapmana, D., Bradleyb, C., Gettelc, G., Hatvanid, I., Heine, T., Kovácsf, J., Liskag, I., Oliverh, D., Tanosi, P., Trásyf, B. & Várбірój, G. (2016). Developments in water quality monitoring and management in large river catchments using the Danube River as an example. *Environmental Science & Policy*, 64. [141–154]. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envman.2016.10.004>
40. Şener, Ş., Şener, E. & Davraz, A. (2017). Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Science of the Total Environment*, 584–585. [131–144]. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.102>.
41. Almeida, S., Elias, C., Ferreira, J., Tornés, E., Puccinelli, C., Delmas, F., Dörflinger, G., Urbanič, G., Marcheggiani, S., Rosebery, J., Mancini, L. & Sabater, S. (2014). Water quality assessment of rivers using diatom metrics across Mediterranean Europe: A methods intercalibration exercise. *Science of the Total Environment*, 476–477. [768–77]. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.144>
42. Feio, M.J., Calapez, A.R., Elias, C.L., Cortes, R., Graça, M., Pinto, P. & Almeida, S. (2016). The paradox of expert judgment in rivers ecological monitoring. *Journal of Environmental Management*, 184. [609-616]. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.004>
43. Lu“-Liua, L. & Jian-Jun, D. (2017). Documented changes in annual runoff and attribution since the 1950s within selected rivers in China. *Advances in Climate Change Research*, [1-11]. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.accre.2017.03.005>.
44. Campbell, I. (2016). Integrated management of large rivers and their basins. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 16. [203–214]. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecohyd.2016.09.006>.
45. Yang, X., Lu, X. & Ran, L. (2016). Sustaining China’s large rivers: River development policy, impacts, institutional issues and strategies for future improvement. *Geoforum*, 69. [1–4]. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoforum.2015.11.019>.
46. Behmel, S., Damour, M., Ludwig, R. & Rodríguez, M.J. (2016). Water quality monitoring strategies — A review and future perspectives. *Science of the*

- Total Environment, 571. [1312–1329]. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.235>
47. Moreno, A., Toro, M. & Carvajal, L. (2008). Revisión de criterios y metodologías de diseño de redes para el monitoreo de la calidad del agua en ríos: Avances en recursos hidráulicos, 18. [57-68].
 48. Rivera-Rondón, C., Valderrama, L.T., Baena, S., Prada- Pedreros, S. & Chará, J. (2009). Efecto de los Sistemas Productivos Sobre la Calidad del Agua y la Diversidad en Ríos de la Ecorregión Cafetera. Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos. CIEBREG. Pereira, Colombia. Valoración de la Biodiversidad en la Ecorregión del Eje Cafetero. [111-129].
 49. Flinta, N., Rolfe, J., Jones, C., Sellens, C., Johnston, N. & Ukkola, L. (2017). An Ecosystem Health Index for a large and variable river basin: Methodology, challenges and continuous improvement in Queensland's Fitzroy Basin. Ecological Indicators, 73. [626–636]. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.10.007>.
 50. Pineiro, J., Martínez, J., García, P., Alonso, J., Díaz, C., & Taboada J. (2013). Analysis and detection of outliers in water quality parameters from different automated monitoring stations in the Mino river basin (NW Spain). Ecological Engineering, 60. [60– 66]. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.054>
 51. Trowbridge, P., Davis, J., Mumley, T., Taberski, K., Feger, N., Valiela, L., Ervin, J., Arseme, N., Olivieri, A., Carroll, P., Coleman, J., Salop, P., Sutton, R., Yee, D., McKee, L., Sedlak, M., Grosso, C. & Kelly, J. (2016). The Regional Monitoring Program for Water Quality in San Francisco Bay, California, USA: Science in support of managing water quality. Regional Studies in Marine Science, 4. [21-33]. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsma.2015.10.002>.